

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **05257176 A**(43) Date of publication of application: **08.10.93**

(51) Int. Cl.

**G02F 1/35**(21) Application number: **04055678**(22) Date of filing: **13.03.92**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>**(72) Inventor: **NAKANO HIDETOSHI  
TSUKADA MASAHIITO  
ISHIDA YUZO**(54) **LIGHT PULSE TRAIN GENERATION DEVICE**

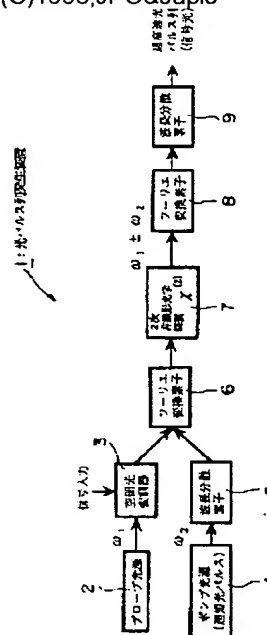
arranged linearly.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&amp;Japio

**PURPOSE:** To generate an ultra high bit rate light signal train (signal light) efficiently at a high speed and to performs even the parametric amplification of the signal light at the time of spatial filtering execution on a Fourier transformation surface.

**CONSTITUTION:** The light pulse train generation device 1 features the arrangement of a probe light source 2 which generates the light signal, a spatial optical modulator 3, a pump light source 4 which generates ultra short light pulses, a 1st wavelength dispersing element 5 which spectrally decomposes the ultra short light pulses, a 1st Fourier transforming element 6 which processes the light signal and ultra short light pulses by Fourier transformation, a secondary nonlinear optical medium 7 which makes the light signal and ultra short light pulses into a time-series light signal through nonlinear mutual operation, a 2nd Fourier transforming element 8 which processes the light signal by Fourier transformation, and a 2nd wavelength dispersing element 9 which spectrally composes the Fourier-transformed light signal. Further, plural probe light sources may be



(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開平5-257176

(43)公開日 平成5年(1993)10月8日

(51)Int.Cl.<sup>3</sup>

G 0 2 F 1/35

識別記号

庁内整理番号

7246-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平4-55678

(22)出願日 平成4年(1992)3月13日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 中野 秀俊

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 塚田 雅人

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 石田 祐三

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

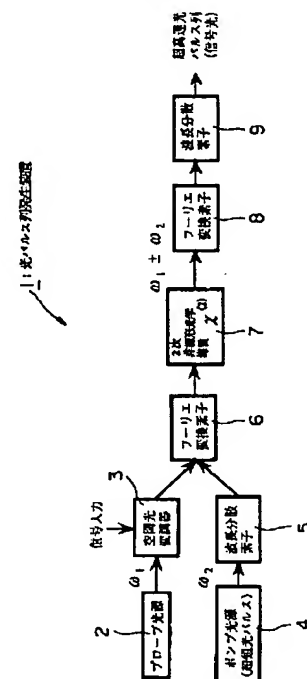
(74)代理人 弁理士 志賀 正武

(54)【発明の名称】 光パルス列発生装置

(57)【要約】

【構成】 本願発明の光パルス列発生装置1は、光信号を発生させるプローブ光源2と、空間光変調器3と、超短光パルスが発生させるポンプ光源4と、超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子5と、光信号及び超短光パルスをフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子6と、光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させ時系列光信号とする2次非線形光学媒質7と、この光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子8と、フーリエ変換された光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子9とを具備してなることを特徴とする。また、複数のプローブ光源を一次元に配置させてもよい。

【効果】 効率的かつ高速に可変の超高ビットレート光信号列(信号光)を発生させることができ、フーリエ変換面における空間フィルタリング実行時に信号光のパラメトリック増幅をも併せて行うことができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プローブ光源と、該プローブ光源から発生する光信号を空間光変調する空間光変調器と、超短光パルスが発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記空間光変調器から発生する光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることを特徴とする光パルス列発生装置。

【請求項2】 一次元に配置される複数のプローブ光源と、超短光パルスが発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記複数のプローブ光源から発生する各々の光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される複数の光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることを特徴とする光パルス列発生装置。

【請求項3】 請求項1または2記載の光パルス列発生装置において、前記ポンプ光源は、共振器内部に第2高調波発生用の非線形光学媒質を具備してなることを特徴とする光パルス列発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、時分割多重方式による大容量光通信及びその交換において好適に用いられ、空間フーリエ変換された並列入力信号を実時間的に処理し時系列信号へ変換する光パルス列発生装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 将来の大容量光通信技術の一つの方向として、例えば、光ソリトン通信方式に見られるような超短光パルス列による時分割多重通信方式が考えられている。また、近年、急激に進歩しつつある超短光パルス発生技術においては、光の振動周期にして僅か3サイクルに相当する6フェムト秒の光パルス幅を実現するに至っている（参考文献1：R.L.Fork, C.H.Brito-Cruz, P.C.Becker, and C.V.Shank, Opt. Lett. 12, 483(1987)）。

そして、このような超短光パルスを用いれば、原理的には100Tb/s程度の高ビットレート光パルス列を発生させることが期待できるのであるが、実際には、極限的に幅の狭い光パルスはレーザ装置から高々数十Hzの繰返しで発生するのみである。また、一方では、半導体レーザの利得スイッチング法で直接数十GHz程度の繰返しの光短パルス列が実現されているが、光パルス幅は数ピコ秒程度に留まり、より光パルス幅の狭い超短光パルスを発生するまでには至っていない。そこで、ビットレートの低い光パルス列を高ビットレート化することにより、より光パルス幅の狭い超短光パルスを発生させる試みがなされており、例えば、時間軸上で直接操作する手法として、光ファイバ遅延線と高速光スイッチを用いる方法が考えられている（参考文献2：M.Tsukada and Y.Shimazu, Electron. Lett. 26, 1895(1990)）。

【0003】 また、光の周波数領域で処理を行う手法も提案されている（参考文献3：A.M.Weiner, J.P.Heritage, and E.M.Kirschner, J. Opt. Soc. Am. B 5, 1563(1988)）。この方法は、超短光パルスがもともと広い波長域にわたるスペクトルを有していることに着目して行われる処理であり、使用する素子の応答速度に対する要請が軽く、任意の光パルス波形（例えば、矩形波）を実現する能力をも有する点で優れた手法である。この方式では、波長分散素子とフーリエ変換素子とを組み合わせることで用いることにより、光パルスの周波数情報を空間的な位置情報に変換する。次に、フーリエ変換面で空間フィルタリングを実行することによって、位相および振幅変調を施す。その後、再度フーリエ変換素子と波長分散素子とを組み合わせた光学系を通過させることにより、時系列信号に逆変換し、任意の光パルス系列を発生させる。すなわち、この方式では、時間領域と共役関係にある周波数領域での処理を光波情報処理の最大の利点である並列処理性を活用して実行している。それゆえ、素子の応答速度に対する要請を軽減することが可能となっている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上述した光の周波数領域で処理を行う手法においては、空間フィルタとして、発生させるべき時間波形のフーリエ変換に相当する透過率/位相特性を有するマスクを準備することが必要となる。該マスクの最も簡単なものはフーリエ変換ホログラムである（参考文献4：K.Ema and F.Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. 29, L631(1990)）が、固定のホログラムを用いたのでは、次々と信号波形を書き換えることが不可能である。また、液晶空間光変調器等を用いることも可能ではある（参考文献5：A.M.Weiner, D.E.Leaird, J.S.Patel, and J.R.Wullert, Opt. Lett. 15, 326(1990)）が、応答速度が遅いことならびに、発生すべき時間波形のフーリエ変換を計算しなくてはならぬことなどの

問題があり、やはり次々と光パルス列（波形）を書き換える用途への適用は困難である。

【0005】前記ホログラムの実時間化としては、非線形光学媒質中での3次非線形応答特性を用いた縮退四光波混合の応用、光誘起屈折率効果の応用が考えられている（参考文献6：K. Ema, M. K. Gonogami, and F. Shimizu, Appl. Phys. Lett. 59, 2799(1991)）。しかしながら、一般に、3次非線形応答特性は比較的高速応答性を示すものの効果が小さいという欠点がある。例えば、一部の半導体励起子遷移のように比較的大きな非線形性を示すものもあるが、これらはほとんど極低温状態でのみ存在するという欠点があり、実用性が極めて乏しい。これに対し、光誘起屈折率効果は一般に効率が高いものの応答が遅いという欠点がある。

【0006】時分割多重方式による通信容量の増加のためには、短パルスを使用した高ビットレートパルス列の発生が必須であるが、レーザ光源の直接変調法による手法では、ピコ秒以下の超短パルス化が困難なことから、ビットレートに制約が生じる。そこで、ピコ秒からサブピコ秒に至る光パルスまで任意の高速パルス列を合成するためには、実時間的に書き換え可能な空間フィルタを準備する必要がある。しかしながら、この空間フィルタとして3次非線形分極を利用すれば回折効率が低くなり、光誘起屈折率効果を用いれば応答速度が低くなるという問題点がある。

【0007】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、従来の様々な問題点や欠点を解決するとともに、高効率と高速応答を実現し、超高ビットレートの光信号パルス列を合成することのできる光パルス列発生装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は下記のような光パルス列発生装置を採用した。すなわち、請求項1記載の光パルス列発生装置は、プローブ光源と、該プローブ光源から発生する光信号を空間光変調する空間光変調器と、超短光パルスを発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記空間光変調器から発生する光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることを特徴としている。

【0009】また、請求項2記載の光パルス列発生装置は、一次元に配置される複数のプローブ光源と、超短光

パルスを発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記複数のプローブ光源から発生する各々の光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される複数の光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることを特徴としている。

【0010】また、請求項3記載の光パルス列発生装置は、請求項1または2記載の光パルス列発生装置において、前記ポンプ光源は、共振器内部に第2高調波発生用の非線形光学媒質を具備してなることを特徴としている。

【0011】

【作用】本発明の請求項1記載の光パルス列発生装置では、前記プローブ光源から発生する光信号は空間光変調器により空間光変調される。一方、前記ポンプ光源から発生する超短光パルスは第1の波長分散素子によりスペクトル分解される。前記空間光変調器から発生する光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスは第1のフーリエ変換素子に入射されてそれぞれが個別にフーリエ変換される。

【0012】フーリエ変換された光信号及び超短光パルスは、2次非線形光学媒質内で非線形相互作用し時系列光信号となって該2次非線形光学媒質から出射される。この時系列光信号は第2のフーリエ変換素子においてフーリエ変換され、さらに第2の波長分散素子においてスペクトル合成されて出射される。

【0013】ここで、空間光変調器への入力光信号パターンをそのまま光パルス列に変換するのであれば、プローブ光はCW光（連続発振光）または、超短光パルスと同じタイミングで非線形光学媒質に入射する単純な光パルス列であれば良い。この光パルス列発生装置では、効率的かつ高速に可変の超高ビットレート光信号列（信号光）を発生させることが可能となり、フーリエ変換面における空間フィルタリング実行時に信号光のパラメトリック増幅をも併せて行うことが可能となる。

【0014】また、請求項2記載の光パルス列発生装置では、一次元に配置される複数のプローブ光源から発生する光信号及び第1の波長分散素子によりスペクトル分解される超短光パルスは、第1のフーリエ変換素子に入射されてそれぞれが個別にフーリエ変換される。

【0015】フーリエ変換された光信号及び超短光パルスは、2次非線形光学媒質内で非線形相互作用し時系列光信号となって該2次非線形光学媒質から出射される。この時系列光信号は第2のフーリエ変換素子においてフ

ーリエ変換され、さらに第2の波長分散素子においてスペクトル合成されて出射される。

【0016】これより、空間光変調器を使わずに空間パターンを実現することが可能になる。また、この空間パターンが出力される光信号の時系列パターンとなるので、個々のプローブ光信号列が置かれた位置に対応して時間的にずれて多重化されることになり、入力信号のビットレートを変えることなく多重化する（ビット多重）ことが可能になる。

【0017】また、請求項3記載の光パルス列発生装置では、前記ポンプ光源の共振器内部に第2高調波発生用の非線形光学媒質を具備することにより、基本波と第2高調波の光パルスを高効率で得ることが可能になる。したがって、第2高調波をポンプ光とし、基本波をプローブ光として用いることにより、同一のパルス光源を用いた送受信装置とすることが可能になる。

【0018】

【実施例】以下、本発明に係る光パルス列発生装置について説明する。

（第1実施例）図1は光パルス列発生装置1の構成図である。この光パルス列発生装置1は、プローブ光源2と、プローブ光源2から発生する光信号を空間光変調する空間光変調器3と、超短光パルスを発生させるポンプ光源4と、ポンプ光源4から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子5と、空間光変調器3から発生する光信号及び波長分散素子5から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフー

$$E_{p1}(x, t) \propto E_{in}(t - a_{in}x) \quad \dots\dots (1)$$

と表される。ここで、 $a_{in}$ は入射側に置いた波長分散素子の分散量を与えるパラメータである。

【0022】次に、フーリエ変換素子6（フーリエ変換レンズ、放物面鏡等から構成される）により、フーリエ

$$E_{p2}(x, t) \propto E_{in}\left(-\frac{\alpha_{pu}}{a_{in}}x\right) \exp\left(-i\frac{\alpha_{pu}}{a_{in}}xt\right) \quad \dots\dots (2)$$

で与えられる。ここで、 $E(N_x)$ は、 $E(x)$ の空間フーリエ変換を意味し、

$$E(N_x) = \int_{-\infty}^{\infty} E(x) e^{-iN_x x} dx \quad \dots\dots (3)$$

で定義される。ここで、 $\alpha_{pu}$ はポンプ光の波長 $\lambda_{pu}$ と入射側のフーリエ変換素子の焦点距離 $f_1$ により決定されるパラメータである。

【0023】このフーリエ変換面に2次非線形応答を示す2次非線形光学媒質7を設置する。一方、プローブ光源2から発生するプローブ光は、空間変調器3により空間変調（波面内での振幅・位相変調、すなわち濃淡分布

$$E_2(x) \propto E_1(\alpha_{pr}x) \quad \dots\dots (4)$$

リエ変換素子6と、第1のフーリエ変換素子6から出射される光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次の非線形感受率 $\chi^{(2)}$ を有する2次非線形光学媒質7と、2次非線形光学媒質7から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子8と、第2のフーリエ変換素子8から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子9とから構成されている。

【0019】ここで、プローブ光源2から発生されるプローブ光は、空間光変調器への入力光信号パターンをそのまま光パルス列に変換するのであれば、CW光（連続発振光）または、超短光パルスと同じタイミングで非線形光学媒質に入射する単純な光パルス列であれば良い。

【0020】次に、光パルス列発生装置1の特徴である、2次非線形光学媒質7のパラメトリック非線形相互作用によりピコ～サブピコ秒光パルスから高ビットレート光パルス列を発生させる原理について説明する。ポンプ光源4から発生した超短光パルスは、波長分散素子5（回折格子、波長分散プリズム等から構成される）により、スペクトル分解され、成分ごとに異なった角度で進行する。すなわち、ここでは、ポンプ光のスペクトル情報が空間周波数情報に変換される。

【0021】スペクトル分解されたポンプ光の電界振幅 $E_{p1}(x, t)$ は、波長分散素子5への入射光電界振幅 $E_{in}(t)$ を用いて、

【数1】

変換面（焦点面）上で空間周波数情報（波長成分）が位置情報に変換される。フーリエ変換面でのポンプ光の電界振幅 $E_{p2}(x, t)$ は、

【数2】

【数3】

的な変調）が施され、フーリエ変換素子6によって2次非線形光学媒質7面上に、変調された波面情報の空間フーリエ変換像が現れる。つまり、プローブ光が作る像の電界振幅 $E_2(x)$ は、変調前のプローブ光パターンが一樣と仮定すれば、空間変調信号 $E_1(x)$ のフーリエ変換に比例したものとなっており、次式で与えられる。

【数4】

$$\dots\dots (4)$$

ここで、 $\alpha_{pr}$ はプローブ光の波長 $\lambda_{pr}$ とフーリエ変換素子6の焦点距離 $f_1$ により決定されるパラメータである。

【0024】スペクトル分解されたポンプ光のフーリエ変換波面と空間変調されたプローブ光のフーリエ変換波面とが同時に2次非線形光学媒質7中に入射することにより、両者の電界の積に比例した非線形双極子モーメントが該2次非線形光学媒質7中に誘起される。誘起された非線形双極子モーメントによる輻射電界が、非線形相互作用の結果としての新たな信号光を生み出す。すなわち、信号電界振幅 $E_3(x, t)$ は、 $d_{eff}$ を2次の非線形光学定数として、和周波発生するときには、

$$E_3(x, t) \propto d_{eff} E_2(x) E_{p2}(x, t)$$

$$\propto d_{eff} E_1(\alpha_{pr} x) E_{p1} \left( -\frac{\alpha_{pu}}{a_{in}} x \right) \exp \left( -i \frac{\alpha_{pu}}{a_{in}} x t \right) \dots \dots (5)$$

となり、差周波発生するときには、

【数6】

$$E_3(x, t) \propto d_{eff} E_2^*(x) E_{p2}(x, t)$$

$$\propto d_{eff} E_1^* \left( -\alpha_{pr} x \right) E_{p1} \left( -\frac{\alpha_{pu}}{a_{in}} x \right) \exp \left( -i \frac{\alpha_{pu}}{a_{in}} x t \right) \dots \dots (6)$$

となる。

【0025】ここで、 $\alpha_{out} = \alpha_{pu}$ となるように配置、すなわちプローブ光および信号光の波長をそれぞれ

$$\lambda_{pu} \cdot f_1 = \lambda_{sig} \cdot f_2$$

を満たすように配置しておけば、発生した信号は、出力側に設けたフーリエ変換素子8により、再度フーリエ変換を受け、出射側の波長分散素子9面上での電界振幅 $E$

$\lambda_{pu}$ 、 $\lambda_{sig}$ 、入力側のフーリエ変換素子6の焦点距離を $f_1$ 、出力側のフーリエ変換素子8の焦点距離を $f_2$ として、

$$\dots \dots (7)$$

4(x, t)は、和周波発生するときには、

【数7】

$$E_4(x, t) \propto d_{eff} E_3(t, x)$$

$$\propto d_{eff} E_1 \left( -\frac{\alpha_{pu}}{\alpha_{pr} a_{in}} (t + a_{in} x) \right) \bigcirc E_{in}(t + a_{in} x) \dots \dots (8)$$

となり、差周波発生するときには、

【数8】

$$E_4(x, t) \propto d_{eff} E_3^*(t, x)$$

$$\propto d_{eff} E_1^* \left( \frac{\alpha_{pu}}{\alpha_{pr} a_{in}} (t + a_{in} x) \right) \bigcirc E_{in}(t + a_{in} x) \dots \dots (9)$$

となる。

【0026】従って、出射側の波長分散素子9の分散量が入射側と同じであれば、逆変換の結果として得られる

出力信号波形（電界振幅） $E_{out}(t)$ は、和周波発生時には、

【数9】

$$E_{out}(t) \propto d_{eff} E_1 \left( -\frac{\alpha_{pu}}{\alpha_{pr} a_{in}} t \right) \bigcirc E_{in}(t) \dots \dots (10)$$

となり、差周波発生時には、

【数10】

$$E_{out}(t) \propto d_{eff} E_1^* \left( \frac{\alpha_{pu}}{\alpha_{pr} a_{in}} t \right) \bigcirc E_{in}(t) \dots \dots (11)$$

となる。ここで、 $\bigcirc$ は畳み込み演算を表す。すなわち、この装置から発生する光信号パルス列（パルス波形）は、種とする超短光パルス（ポンプ光）と空間光変調器に入力する変調信号との畳み込みとなる。以上が、超短光パルスを種として超高速ビット列を発生する動作原理である。

【0027】この光パルス列発生装置1によれば、効率的かつ高速に可変の超高ビットレート光信号列（信号光）を発生させることができ、フーリエ変換面における空間フィルタリング実行時に信号光のパラメトリック増幅をも併せて行うことができる。

【0028】次に、本発明の光パルス列発生装置をより具体化した各実施例について説明する。

（第2実施例）図2は、差周波発生方式により光パルス列を発生させる光パルス列発生装置11の構成図である。この光パルス列発生装置11は、プローブ光源2と、空間光変調器3と、ポンプ光源4と、回折格子（第1の波長分散素子）12と、フーリエ変換レンズ（第1のフーリエ変換素子）13と、2次非線形光学媒質7と、フーリエ変換レンズ（第2のフーリエ変換素子）14と、回折格子（第2の波長分散素子）15とから構成されている。なお、図中の「 $f$ 」はフーリエ変換レンズ13の焦点距離を、「 $f/2$ 」はフーリエ変換レンズ14の焦点距離をそれぞれ表わしている。

【0029】ここで、フーリエ変換レンズ13の焦点距離を $f$ 、回折格子12の溝間隔を $\Lambda$ とすれば、フーリエ変換レンズ14の焦点距離を $f/2$ 、回折格子15の溝間隔を $2\Lambda$ とすることが必要である。このようにすれば、回折格子12と回折格子15との幾何学的配置を対称にすることにより、2つの回折格子12、15による分散量を同一にすることができる。

【0030】プローブ光源2としては、 $1.55\mu\text{m}$ のプローブ光 $L_1$ を発振させることのできる半導体レーザ等が、また、ポンプ光源4としては、中心波長 $775\text{nm}$ のポンプ光 $L_2$ を発振させることのできる受動モード同期チタンドープサファイアレーザ（ $\text{Ti:A12O3}$ レーザ）等が好適に用いられる。この場合、差周波として $1.55\mu\text{m}$ の信号光 $L_3$ を得ることができる。この波長帯は、光通信において有用な波長である。

【0031】また、2次非線形光学媒質7としては、 $\text{KTP}$ （ $\text{KTiOPO4}$ ）、 $\beta\text{-BBO}$ （ $\text{BaB2O4}$ ）、 $\text{LBO}$ （ $\text{LiB3O5}$ ）、 $\text{LiNbO3}$ 等が好適に用いられる。

【0032】この光パルス列発生装置11では、入射するポンプ光 $L_2$ の中心周波数を $2\omega$ 、プローブ光 $L_1$ の中心周波数を $\omega$ とすれば、差周波信号として中心周波数 $\omega$ の信号光 $L_3$ を発生させることができ、特に、回折格子12として溝間隔 $555\text{nm}$ （ $1800\text{lines/mm}$ ）のものをを用い、ポンプ光源から発振される超短パルス光のパルス幅を $90\text{fs}$ とした場合には、原理的には

およそ $9\text{Tb/s}$ の超高ビットレート光信号列を発生させることができる。

【0033】なお、フーリエ変換レンズ13、14の替わりに同一の焦点距離を有する放物面鏡（フーリエ変換素子）を用いても同一の作用・効果を奏することができる。放物面鏡は、パルス幅が短くなったときに波長分散および色収差の悪影響を取り除く意味で有効な手段である。

【0034】（第3実施例）図3は、和周波発生方式により光パルス列を発生させる光パルス列発生装置21の構成図である。この光パルス列発生装置21は、第2実施例の光パルス列発生装置11と同一の構成要素からなるもので、上述した光パルス列発生装置11と異なる点は、入射するポンプ光の中心周波数を $\omega$ とした点と、フーリエ変換レンズ13の焦点距離を $f$ 、回折格子12の溝間隔を $\Lambda$ としたときに、フーリエ変換レンズ14の焦点距離が $2f$ 、回折格子15の溝間隔が $\Lambda/2$ となるように、フーリエ変換レンズ14及び回折格子15を選択した点である。

【0035】この光パルス列発生装置21によれば、2次非線形相互作用により和周波の発生を実現することができる。代表的なものは第2高調波発生（SHG）である。入射するポンプ光 $L_2$ とプローブ光 $L_1$ の中心周波数を共に $\omega$ とすれば、 $2\omega$ の周波数の信号光 $L_3$ を発生させることができる。特に、プローブ光源2およびポンプ光源4として受動モード同期チタンドープサファイアレーザを用いれば、近紫外域において任意波形の高繰り返し光パルス列を発生することができる。この波長域の光パルス列は、 $\text{I I-VI}$ 属化合物半導体の分光研究などにおいて重要なものである。

【0036】（第4実施例）図4は、差周波発生方式によりビット多重化した光パルス列を発生させる光パルス列発生装置31の構成図である。この光パルス列発生装置31は、第2実施例の光パルス列発生装置11のプローブ光源2及び空間光変調器3を、1次元アレイ状に配列した3つのプローブ光源 $2a\sim 2c$ に置き換えたものであり、この構成要素以外の構成要素については光パルス列発生装置11と全く同一である。

【0037】この光パルス列発生装置31によれば、個々のプローブ光源 $2a\sim 2c$ から出射される各プローブ光 $L_{11}\sim L_{13}$ により光パルスを多重化することができる。この装置31では、各チャンネルがプローブ光源 $2a\sim 2c$ の位置に対応する。個々のプローブ光源 $2a\sim 2c$ として、 $1.55\mu\text{m}$ で発振する半導体レーザを用いれば、直接変調により受動モード同期チタンドープサファイアレーザ（ $775\text{nm}$ ）の繰り返し周期程度のビットレートの信号パルス列を実現することができる。

【0038】（第5実施例）図5は、入射光源として基本波と第2高調波を発生させることのできる光パルス列発生装置41の構成図である。この光パルス列発生装置

41は、第2実施例の光パルス列発生装置11のポンプ光源4を共振器内部に第2高調波発生用の非線形光学結晶(媒質)を配置した超短光パルスレーザ42に置き換え、さらに、回折格子(波長分散素子)43、44、ミラー45、45、…、フーリエ変換レンズ13、2次非線形光学媒質7、フーリエ変換レンズ14を付加した構成である。なお、46は光検出器アレイ(光パルス検出装置)である。

【0039】この光パルス列発生装置41では、超短光パルスレーザ42から高効率で基本波と第2高調波の光パルスを同時に得ることができる。もちろん共振器外部に2次非線形光学媒質を置いて第2高調波発生を行なわせることにより同様の光パルス列発生装置を構成することは可能であるが、装置全体が大型かつ複雑になり好ましくない。また、第2高調波の発生効率等を勘案すると超短光パルスレーザ42を用いる利点は極めて大きい。

【0040】また、第2高調波をポンプ光 $L_2$ として用い、基本波を光検出器アレイ46のプロープ光 $L_4$ として用いることにより、同一のパルス光源を用いた送受信装置とすることができる。例えば、超短パルス光源として、受動モード同期チタンドープサファイアレーザを用いれば、800nm付近の波長帯で発振する光パルスを送信側のプロープ光とすることにより、800nm付近の波長帯での光パルス送受信装置を構成することができる。また、超短パルスレーザ光源として、 $Cr^{4+}:YAG$ レーザのように1.3 $\mu m$ ~1.5 $\mu m$ の波長域に利得を有するレーザを用いれば、1.3 $\mu m$ または1.5 $\mu m$ で発振する半導体レーザ光を送信側のプロープ光とすることにより、1.3 $\mu m$ 帯または1.5 $\mu m$ 帯の光パルス送受信装置を構成することができる。また、第4実施例の光パルス列発生装置31に示す様に、送信側のプロープ光源を半導体レーザのリニアアレイとすれば、ビット多重方式のマルチプレクサとデマルチプレクサを構成することができる。

【0041】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明の請求項1記載の光パルス列発生装置によれば、プロープ光源と、該プロープ光源から発生する光信号を空間光変調する空間光変調器と、超短光パルスを発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記空間光変調器から発生する光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることとしたので、効率的かつ高

速に可変の超高ビットレート光信号列(信号光)を発生させることができ、フーリエ変換面における空間フィルタリング実行時に信号光のパラメトリック増幅をも併せて行うことができる。

【0042】また、請求項2記載の光パルス列発生装置によれば、一次元に配置される複数のプロープ光源と、超短光パルスを発生させるポンプ光源と、該ポンプ光源から発生する超短光パルスをスペクトル分解する第1の波長分散素子と、前記複数のプロープ光源から発生する各々の光信号及び波長分散素子から発生する超短光パルスをそれぞれフーリエ変換する第1のフーリエ変換素子と、該第1のフーリエ変換素子から出射される複数の光信号及び超短光パルスを非線形相互作用させて時系列光信号を発生させる2次非線形光学媒質と、該2次非線形光学媒質から発生する時系列光信号をフーリエ変換する第2のフーリエ変換素子と、該第2のフーリエ変換素子から発生する時系列光信号をスペクトル合成する第2の波長分散素子とを具備してなることとしたので、空間光変調器を使わずに空間パターンを実現することができる。また、この空間パターンが出力される光信号の時系列パターンとなるので、個々のプロープ光信号列が置かれた位置に対応して時間的にずれて多重化されることとなり、入力信号のビットレートを変えることなく多重化する(ビット多重)ことができる。

【0043】また、請求項3記載の光パルス列発生装置によれば、請求項1または2記載の光パルス列発生装置において、前記ポンプ光源は、共振器内部に第2高調波発生用の非線形光学媒質を具備してなることとしたので、基本波と第2高調波の光パルスを高効率で得ることができる。したがって、第2高調波をポンプ光とし、基本波をプロープ光として用いることにより、同一のパルス光源を用いた送受信装置とすることができる。

【0044】以上により、従来のレーザの直接変調などでは実現不可能であった超高ビットレート光パルス列を高速かつ高効率で実現することができる光パルス列発生装置を提供することができる。さらに、種になる超短パルス光源が同一であっても、光学系中のフーリエ変換素子の焦点距離の組み合わせ、2次非線形光学媒質の配置などを選べば、各種波長域の超短光パルス列を発生させることができる。また、超短パルスレーザ光源の共振器内部にパラメトリック波長変換用の付加的共振器を付け加えた光源を準備することにより、超高速光パルス信号の送受信装置を構成することが可能となる等の効果も奏することができる。これらは、将来の超大容量光通信ならびに交換技術に大きく貢献するものであり、11-V1属化合物半導体などの光学材料の超高速緩和現象等の分光研究においても有益なものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の光パルス列発生装置を示す構成図である。



【図２】本発明の第２実施例の差周波発生方式の光パルス列発生装置を示す構成図である。

【図３】本発明の第３実施例の和周波発生方式の光パルス列発生装置を示す構成図である。

【図４】本発明の第４実施例のビット多重化した光パルス列を発生させる光パルス列発生装置を示す構成図である。

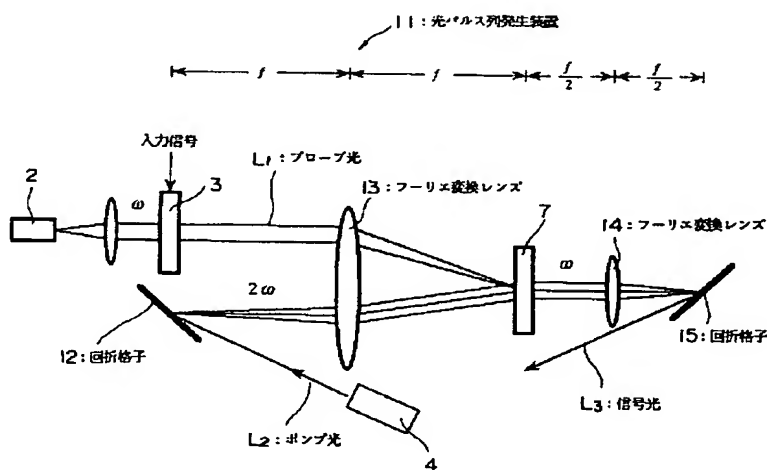
【図5】本発明の第5実施例の基本波と第2高調波を発生させることのできる光パルス列発生装置を示す構成図である。

【符号の説明】

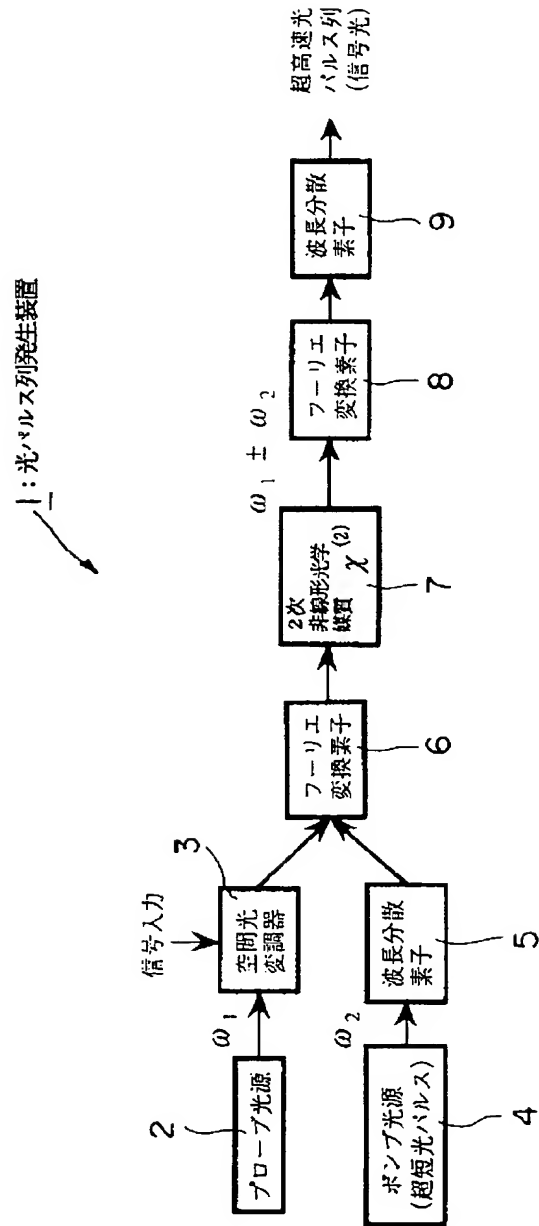
- 1 光パルス列発生装置
- 2 プローブ光源
- 3 空間光変調器
- 4 ポンプ光源
- 5 第1の波長分散素子
- 6 第1のフーリエ変換素子
- 7 2次非線形光学媒質
- 8 第2のフーリエ変換素子

- 9 第2の波長分散素子
- 11 光パルス列発生装置
- 12 回折格子(第1の波長分散素子)
- 13 フーリエ変換レンズ(第1のフーリエ変換素子)
- 14 フーリエ変換レンズ(第2のフーリエ変換素子)
- 15 回折格子(第2の波長分散素子)
- 21 光パルス列発生装置
- 31 光パルス列発生装置
- 41 光パルス列発生装置
- 42 超短光パルスレーザ
- 43、44 回折格子(波長分散素子)
- 45 ミラー
- 46 光検出器アレイ(光パルス検出装置)
- L1 プローブ光
- L2 ポンプ光
- L3 信号光
- L4 プローブ光
- L11~L13 プローブ光

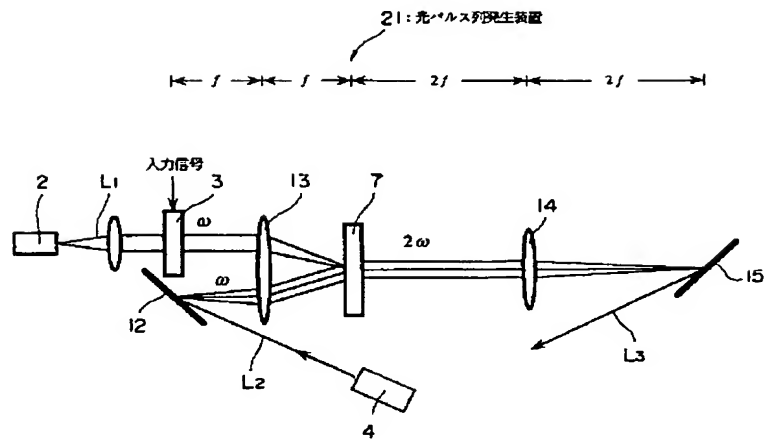
【圖 2】



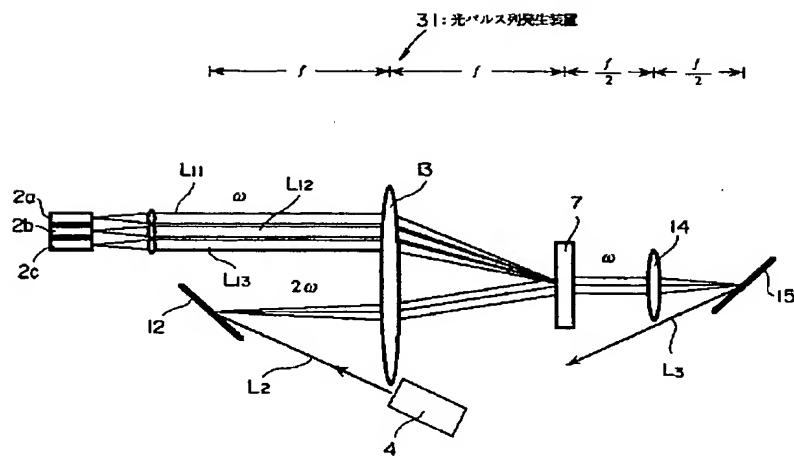
【図1】



【図 3】



【図 4】



【図5】

